



**Lönsamhet vid gallring i bestånd med varierande
grad av heterogenitet och gallringsbehov**
- en analys med Heureka PlanVis

*Profitability of thinnings in stands with varied degree of
heterogeneity and need of thinning*
- an analysis made with Heureka PlanWise

Anton Romlin & Patrik Ulvdal



Kandidatarbeten i Skogsvetenskap

Fakulteten för skogsvetenskap,
Sveriges lantbruksuniversitet

Enhet/Unit	Institutionen för skogens ekologi och skötsel/ Department of Forest Ecology and Management
Författare/Author	Anton Romlin & Patrik Ulvdal
Titel	Lönsamhet vid gallring i bestånd med varierande grad av heterogenitet och gallringsbehov - en analys med Heureka PlanVis
Title	Profitability of thinnings in heterogeneous stands – with the use of the planning programme Heureka
Nyckelord/ <i>Keywords</i>	Optimering, Skoglig planering, Skogshushållning, Skogsekonomi, Fjärranalys / <i>Optimisation, Forestry Planning, Forest management, Forest economy, Forest remote sensing</i>
Handledare/Supervisor	Tomas Lämås Institutionen för skoglig resurshushållning/ Department of forest resource management
Examinator/Examiner	Tommy Mörling Institutionen för skogens ekologi och skötsel/ Department of Forest Ecology and Management
Kurstitel/Course	Kandidatarbete i skogsvetenskap/ Bachelor Degree in Forest Science
Kurskod	EX0592
Program	Jägmästarprogrammet
Omfattning på arbetet	15 hp
Nivå och fördjupning	G2E
Utgivningsort	Umeå
Utgivningsår	2014

FÖRORD

Detta kandidatarbete genomfördes under våren 2014 vid institutionen för skoglig resurshushållning vid Sveriges lantbruksuniversitet i Umeå på uppdrag av Bergvik Skog AB. Arbetet är en del av jägmästarprogrammet och omfattar 15 högskolepoäng på C-nivå.

Vi vill tacka Tomas Lämås, docent vid institutionen för skoglig resurshushållning, som varit vår handledare samt Lars Sängstuvall, vid Bergvik Skog AB, som gav oss uppdraget och stöttat oss under arbetets gång. Dessutom vill vi tacka Anu Korosuo, forskare vid institutionen för skoglig resurshushållning, och Hampus Holmström, analytiker vid institutionen för skoglig resurshushållning, som båda har ställt upp och svarat på många av våra frågor kring material, metod, genomförande och Heurekasystemet.

Slutligen vill vi tacka våra kurskamrater som också använt Heurekasystemet, särskilt Karl Forsman och Pär Wilhelmsson, för möjligheten att dela erfarenheter och tillsammans lösa problem som uppstått kring systemet.

Umeå, April 2014



Anton Romlin



Patrik Ulvdal

SAMMANFATTNING

Detta kandidatarbete genomfördes i samarbete med Bergvik Skog AB som önskade undersöka när skötselåtgärden gallring ska utföras i bestånd med olika grader av heterogenitet. Arbetet syftade därför till att klargöra hur stor andel av ett bestånd som ska vara i behov av gallring för att gallringen ska bli som mest lönsam. Arbetet genomfördes genom att med inventeringsdata från Bergvik Skog dela upp företagets skogsinnehav i norra Värmland i tre heterogenitetsklasser. De tre klasserna byggde på den relativa standardavvikelsen för grundytavägd medelhöjd mellan provytor inom samma bestånd. För klasserna simulerades skogsbruk enligt Bergvik Skogs riktlinjer under 100 år i programmet Heureka PlanVis. Simuleringarna resulterade i nettonuvärden för den ekonomiska avkastningen beroende på vilken andel av arealen som krävdes vara gallringsmogen innan gallring simulerades. Resultaten visade att de mest homogena bestånden bör gallras när 86,5 % av beståndet har gallringsbehov för att uppnå maximal avkastning. Motsvarande siffra för heterogena bestånd var 89 %. För bestånd som är intermediära krävdes dock enbart 69 % av arealen.

Nyckelord: Optimering, Skoglig planering, Skogshushållning, Skogsekonomi, Fjärranalys

ABSTRACT

The work underlying this bachelor thesis was completed in cooperation with Bergvik Skog AB, who requested an examination of when thinnings should be performed in stands with different degrees of heterogeneity. This thesis, therefore, aimed to clarify how big proportion of a stand that should be in need of thinning in order to obtain maximum profit after thinning is performed. The analysis was undertaken by using Bergvik Skog's own inventory data to divide the forest stands in northern Värmland in three heterogeneity classes. The classes were based on the relative standard deviation of the Lorey's mean height between plots, in the same stand. For each class, forest management according to Bergvik Skog's principles, was simulated with the programme Heureka PlanWise, for a period of 100 years. The simulations resulted in different net present values which depended on the proportion of the stand area in need of thinning required before thinning was simulated. The results showed that the most homogeneous stands should be thinned when 86,5% of each stand's area require thinning to achieve maximum profit. The corresponding figure for heterogeneous stands was 89%. However, only 69 % of the area was required for stands that were intermediate.

Key words: Optimisation, Forestry Planning, Forest management, Forest economy, Forest remote sensing

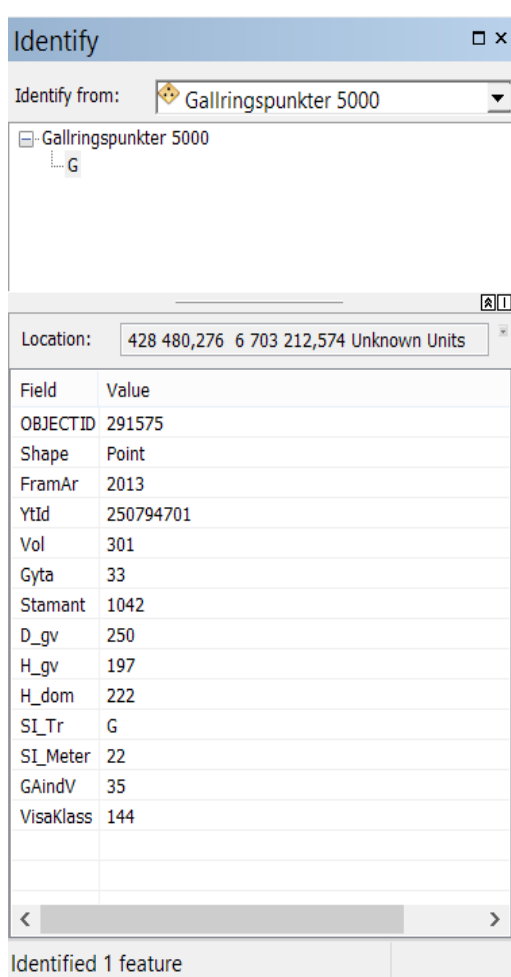
INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Förord	2
Sammanfattning	3
Abstract	4
Innehållsförteckning	5
Inledning.....	6
Bakgrund	6
Bergvik Skogs gallringsriktlinje idag	8
Syfte och mål	9
Frågeställningen.....	9
Hypotes	9
Avgränsningar	10
Tidigare studier.....	10
Material och metod.....	11
Försöksdesign	11
Material.....	11
Databearbetning – uppdelning i klasser.....	13
Simulering	15
Nettonuvärde i Heureka PlanVis	17
Resultat.....	18
Diskussion	22
Heterogenitetsklasserna	22
Fortsatta studier	26
Slutsats.....	27
Referenser.....	28
Bilagor	29
Bilaga 1 - Bergviks gallringsmall	29

INLEDNING

Bakgrund

Konventionell skogsskötsel i Sverige medför att en mängd beslut om tidpunkt, form, styrka och intensitet för skötselåtgärder måste fattas (Albrektson et al. 2008). Dessa beslut kan fattas med olika metoder och stöd på varierande grunder. Inom skogsbruket används därför en mängd av beslutsstöd som kan ange när, om och hur en åtgärd ska genomföras. Tydliga exempel på detta är gallringsamallar, plantavståndsschabloner och rekommenderade åldrar för slutavverkning. Dessa beslutsstöd ger ett tydligt svar på vilket sätt åtgärden ska göras och beslutsstöden bygger på grundligt genomföra vetenskapliga undersökningar eller på vedertagen empirisk kunskap.



Field	Value
OBJECTID	291575
Shape	Point
FramAr	2013
Ytid	250794701
Vol	301
Gyta	33
Stamant	1042
D_gv	250
H_gv	197
H_dom	222
SI_Tr	G
SI_Meter	22
GAindV	35
VisaKlass	144

Figur 1. Exempel på vilket data som finns tillgängligt i Bergvik Skogs raster över skogliga variabler beräknat från laserdata. Bilden är tagen i GIS-programmet ArcMap 10.2.

Figure 1. An example of what forest data derived from laser data is accessible in the raster data of Bergvik Skog. The picture is taken within the GIS-programme ArcMap 10.2.

I takt med tidens tekniska framsteg inom fjärranalysområdet har användningen av data med härkomst därför ökat dramatiskt inom skogsbruket (Nordkvist et al. 2013). Särskilt gäller detta data från flygburen laser-skanning. Den här nya typ av data möjliggör nya former av beslutsstöd.

Av de stora skogsbolagen i Sverige utmärker sig Bergvik Skog AB inom användningen av fjärranalysdata. Företaget har räknat fram geografiskt heltäckande skogliga variabler (volym, slutenhet, höjd osv.) för mer än 90 % av sitt markinnehav (Sängstuvall 2014, *personlig kommunikation*) med hjälp av det data som blivit tillgängligt från Lantmäteriets landsomfattande projekt för att ta fram en ny svensk höjdmodell (Brethvad & Iversen 2012; Klang & Burman 2006). Lantmäteriets laserskanning av Sverige syftar inte primärt till att ta fram skogliga data, men rådatat från skanningen kan användas för att uppskatta skogliga variabler – med en kvalitet som går att likställa med kvalitén hos data inventerat i fält (Nordkvist et al. 2013).

Tillgången till geografiskt heltäckande och kontinuerligt data över ett skogsinnehav möjliggör helt annorlunda analyser än vad tidigare kunde göras med diskreta beståndsmedelvärden i ett avdelningsregister (Holmgren & Thuresson 1997). Exempel på sådana kontinuerliga analyser kan vara att lokalisera möjliga gallringar utan att behöva ta hänsyn till avdelningsgränser, hitta nya möjligheter för indelning av skogen i mer

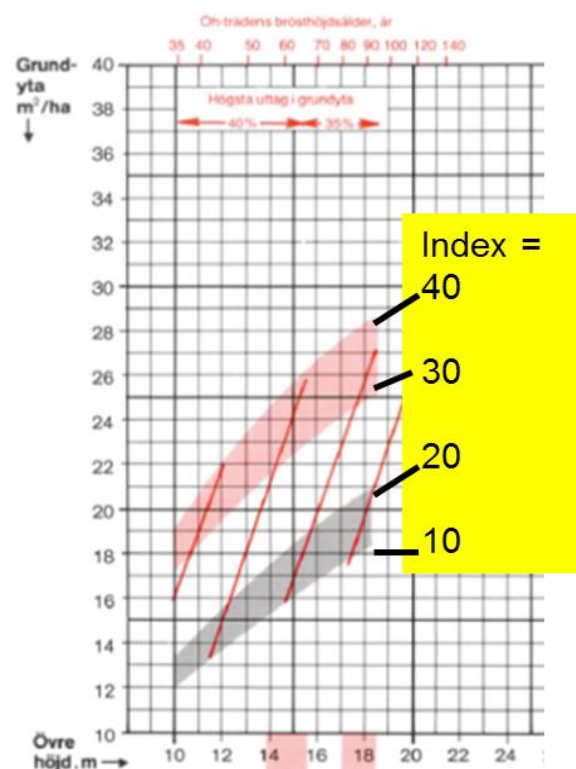
homogena bestånd eller enklare dra gränsen mellan produktiv skogsmark och impediment (Sängstuvall 2011). Till dessa exempel fogas också alla analyser som går att göra med beståndsmedelvärden – men dessa blir i detta fall skarpare.

Det skogliga data, beräknat ur laserdata, som Bergvik Skog använder finns tillgängligt i ett raster med pixlar som är 15*15 m stora. För varje pixel anges de värden som visas i figur 1, dvs stående volym, grundyta, stamantal, grundtyevägd medeldiameter, grundtyevägd medelhöjd, övre höjd, ståndortsvisande trädslag, ståndortsindex och gallringsindex. Bland dessa är samtliga värden beräknade från laserdata förutom ståndortsvisande trädslag och ståndortsindex, vilka istället är tagna från beståndsregistret. Variabeln VisaKlass anger enbart hur datat ska presenteras grafiskt i ett GIS-program.

Detta kontinuerliga data torde underlätta fattandet av bättre avvägda beslut om åtgärder i bestånd som är heterogena till sin beskaffenhet. Det är just sådana typer av bestånd som inte har varit möjliga att beskriva utförligt med icke-kontinuerligt material tidigare. I beståndsregister har det på sin höjd funnits en kommentar från den subjektiva inventeringens förämningsman om att beståndet är olikformart eller ojämnt, men med dagens teknik går det att beräkna denna heterogenitet i siffror och statistiska mått.

Kontinuerligt data möjliggör även beräkning av gallringsbehov. Med Skogsstyrelsens gallringsmall och värdena för höjd och grundyta från rastret är det möjligt att snabbt ta fram en analys av gallringsbehov fördelat på varje pixel i rastret (Skogsstyrelsen 1985). Variabeln GAindV i figur 1 är ett mått på gallringsbehov. Indexet anger helt enkelt hur högt i gallringssmallen pixeln befinner sig – och därmed vilket behov just den pixeln har. Hur det beräknas visas i figur 2. Om antalet pixlar med högt gallringsbehov (med högt avses index 30-40 enligt figur 2), eller arealen för dessa, divideras med det totala antalet pixlar i beståndet, eller den totala arealen, fås en kvot för beståndets gallringsbehov. Denna kvot kallas i det här arbetet för gallringsbehovskvot. Den kvoten anger hur stor andel av beståndet som behöver gallras.

Med hjälp av uppgifter om det rådande gallringsbehovet är det möjligt att fatta mer ekonomiskt avvägda beslut rörande gallring. Bergvik Skogs gallringsriktlinje anger att det är de tätare delarna av bestånd som styr när hela beståndet ska gallras. Det gör det väsentligt att veta ekonomiska brytpunkter för när gallringsbehovet hos en mindre del av beståndet får lov styra över gallringsbehovet hos en större del och tvärt om, utan att ekonomin drabbas hårt (Bergvik Skog AB 2008). Dessa brytpunkter kan undersökas genom att räkna på ekonomiska



Figur 2. En principskiss över hur gallringsindex i Bergviks skogliga raster räknas fram med hjälp av Skogsstyrelsens gallringsmall. Skissen är gjord av Lars Sängstuvall baserad på Skogsstyrelsens gallringsmall

Figure 2. An outline showing how the thinning index in Bergvik's forest data raster is calculated with the use of a thinning guide. The outline is made by Lars Sängstuvall based on Skogsstyrelsen's thinning guide

resultat för gallring i bestånd med varierat gallringsbehov. Eftersom varierat gallringsbehov inom ett bestånd antas korrelera med variation avseende andra skogliga variabler borde även de ekonomiska brytpunkterna skilja sig åt mellan bestånd som är homogena och heterogena avseende dessa variabler. Därför bör bestånden delas in i heterogenitetsklasser innan analys.

Det är de ovan nämnda ekonomiska brytpunkter som ska undersökas i detta kandidatarbete och förhoppningen är att resultatet kan användas som ett nytt stöd för beslut om gallring vid tillämpning av Bergvik Skogs gallringsriktlinje.

Bergvik Skogs gallringsriktlinje idag

Gallringens mål

Allmänt hållet är målet med gallring oftast att öka andelen gagnvirke i slutet av omloppstiden (Agestam 2009). Mer specifikt är målet för Bergvik Skogs gallringar, som det uttrycks i företagens riktlinje, att det enskilda trädets diametertillväxt ska öka och snabbare nå de grövre och mer önskvärda dimensionerna (Bergvik Skog AB 2008). Det bör också konstateras att Bergvik Skog förser sina ägare Stora Enso och BillerudKorsnäs med massaved till respektive företags bruk och att dessa önskar stora andelar gallringsvirke för att säkerställa produktionen. Därför har gallringen hos Bergvik Skog i realiteten även målet att försörja industrin med önskad råvara.

Hur målen uppnås

Bergvik Skog slår fast att ovan nämnda mål nås genom att tidpunkten för ingrepp styrs av de kvarvarande trädens förmåga att reagera på ökat utrymme för kronan vid friställning. Friställningen ska resultera i att det är de grövsta träden med bäst utvecklade kronor som lämnas och att dessa har minst 2 m till närmaste granne. Det ska även strävas efter en minimering av antal ingrepp i ett och samma bestånd. Detta eftersom en åtgärd i ett bestånd alltid innebär risker för skador på kvarvarande träd och att risken ökar med trädens ökande höjd. Bergvik Skog anser därför att varje uttag bör vara så stort som möjligt inom gränsen för vad beståndets produktion och risken för skador medger.

Det föreligger en risk för produktionsnedsättning hos de enskilda träden till följd av tätheten i trädets närhet. Detta beror enligt Bergvik Skog på att tillväxten mestadels påverkas av den direkta närmiljön runt trädets. Därför använder företaget inte medelvärden för ett bestånds täthet som underlag för beslut om gallring – då dessa kan vara mycket felvisande om beståndet är heterogent. Istället ska de tätare och mer bestockade delarna av ett bestånd styra över när och hur gallringsingreppet utförs, eftersom dessa har störst risk att drabbas av produktionsnedsättning om det inte gallras.

Gallringsformen som företaget använder sig av i allmänhet är låggallring. Detta kan motiveras genom att de stora gallring- och gödslingsförsöken (GG-försöken) som genomförts vid Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) visar att låggallring med färre ingrepp ger betydligt högre andel gagnvirke vid senare slutavverkning i de grövre diameterklasserna än annan gallring (Agestam 2009). Denna form av gallring resulterar också i höga stamuttag, som i sin tur ger en högre grad av friställning av kvarvarande träd jämfört med exempelvis höggallring. Låggallring kan dock medföra ett relativt dåligt ekonomiskt resultat i klena gallringar, eftersom medelstammens volym kan bli mycket låg (Brunberg 2007).

Bergvik skog anser att det är viktigt att redan i röjningsfasen sträva efter en jämn spridning av huvudstammar i beståndet. Det är påvisat i studier genomförda vid fakulteten för skogs- vetenskap vid SLU att riktade åtgärder för att forma heterogena bestånd till mer homogena genererar positiva ekonomiska effekter vid en första gallring (Fahlvik 2005). Vid en första gallring anser Bergvik Skog att det är viktigt att ett positivt kassaflöde uppnås vilket också medför att större uttag kan behöva göras (Bergvik Skog AB 2008). Den första gallringen i ett bestånd bör utföras senast när beståndet har nått en höjd av 15m. Det eftersom man eftersträvar en stor frihet i val av träd. Risken är annars att beståndet lider produktionsförluster genom självgallring. Även risken för stormskador ökar om man inte gallrar beståndet tidigt. Bergvik anser att maximal uttagsstyrka vid första gallring är 50 % av stamantalet.

Gallring i eftersatta bestånd under den senare delen av omloppstiden ska enligt Bergvik Skog i större utsträckning erhålla de traditionella låggallringskaraktärerna än de som genomförs tidigare. Detta kan motiveras av att ett senare ingrepp inte resulterar i samma grad av friställning som ett tidigt ingrepp. Även en betydande risk för vindskador uppkommer vid större uttag i bestånd med högre höjd. Vid en senare gallring rekommenderar därför Bergvik Skog därför att maximalt 40 % av stammantal tas ut. Målbilden är att ett bestånd efter sista gallring ska ha 500-800 stammar per hektar.

Ovan beskrivna riktlinjer sammanfattas enkelt i företagets gallringsmall som bifogas i bilaga 1.

Syfte och mål

Målet för arbetet är att konkretisera Bergvik Skogs gallringsriktlinje med ytterligare beslutsstöd i form av riktlinjer för när det är lönsamt att gallra ett bestånd utifrån dess inombeståndsvariation, och hur stor andel av beståndet som uppvisar gallringsbehov – dvs vid vilken gallringsbehovskvot det är mest lönsamt att gallra i olika heterogenitetsklasser. Dessa riktlinjer ska vara applicerbara på geografiskt heltäckande och kontinuerliga skogliga data från flygburen laserskanning.

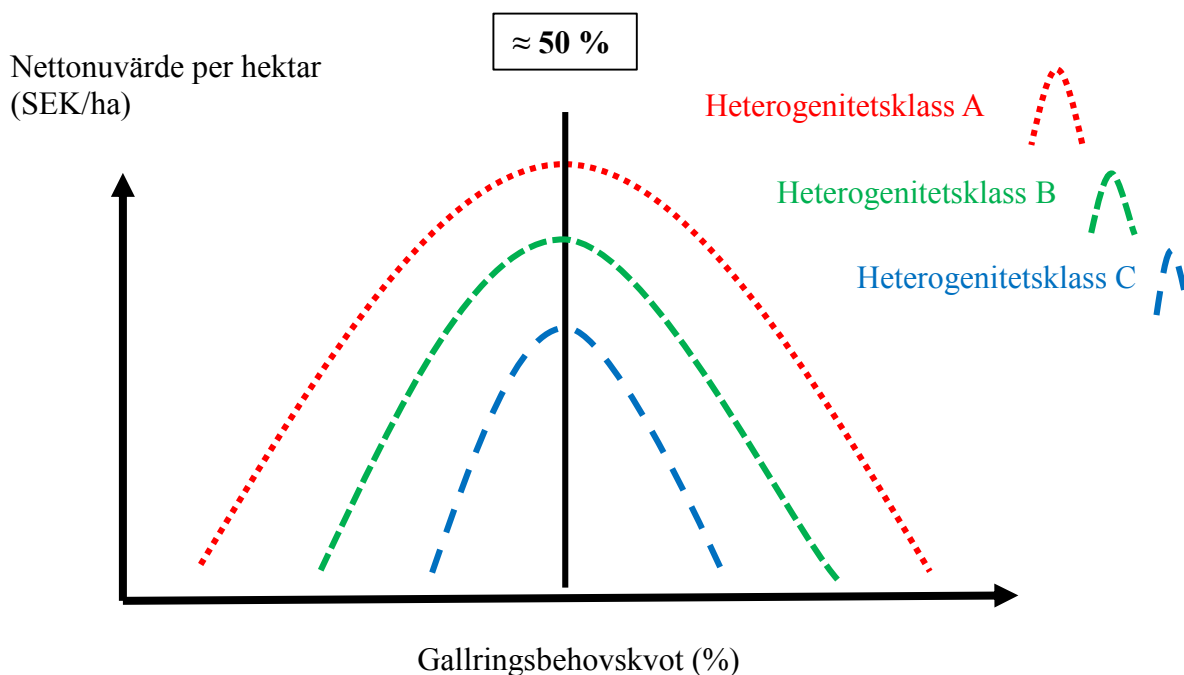
Frågeställningen

Den centrala frågeställningen för det här arbetet är följande:

Vid vilken gallringsbehovskvot är det mest lönsamt, sett över hela omloppstiden, att gallra i ett bestånd med avseende på inom-beståndsvariation?

Hypotes

Författarnas hypotes är att brytpunkten för maximal lönsamhet vid gallringar enligt ovan nämnda frågeställning ligger vid en gallringsbehovskvot på ca 50 % arealen. Antagandet grundar sig i en förstudie utförd av Lars Sängstuvall vid Bergvik Skog AB som gav detta preliminära resultat. Scenariot är troligt då inoptimalförlusten till följd att gallra för sent, i en del av beståndet, och vinsten av att gallra i tid, i en annan del av beståndet, motverkar varandra och nettot blir som störst vid en gallringsbehovskvot runt 50 %. Dessutom antar författarna att lönsamheten kommer att sjunka med ökande grad av heterogenitet i likhet med Pukkala och Miina (2005). Hypotesen visualiseras i figur 3.



Figur 3. Principskiss över hypotesen. Observera att det inte är några värden på axlarna samt att den relativa höjden på kurvorna är godtycklig

Figure 3. An outline of the hypothesis. Please note that the figure is not to scale

Avgränsningar

Det här arbetet kommer enbart bygga på material insamlat vid Bergvik Skogs företagstaxering 2006 och analyserna kommer att ske utefter samma bolags förutsättningar och riktlinjer. Analyserna kommer även att ske genom strikt nuvärdesoptimering – ingen hänsyn kommer därför tas till andra nyttor än ekonomisk avkastning.

Tidigare studier

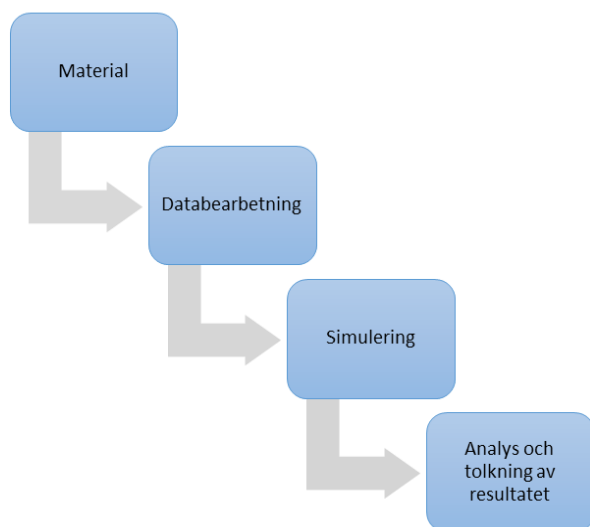
Pukkala och Miina (2005) genomförde en studie om lönsamhet vid skötsel av heterogena bestånd och hur denna skötsel optimeras. I studien användes 318 provvytor fördelade över 41 bestånd i Finland. I dessa bestånd genomfördes simuleringar för att hitta ett optimalt skötselprogram avseende maximalt markvärde. För att simulera en större variation inom bestånden än vad som egentligen var fallet användes fyra variationsmultiplikatorer, 0; 0,5; 1,0 och 1,5 (s.530). Studien visade att det föreligger en minskning av nettoinkomsten och markvärdet vid ökande heterogenitet. Det påvisades även att de ekonomiska resultaten minskar snabbare än vad volymproduktionen gör med ökande heterogenitet.

MATERIAL OCH METOD

Försöksdesign

Som beskrivits i tidigare avsnitt var målet för det här kandidatarbetet att konkretisera Bergvik Skog ABs gallringsriktlinje med riktlinjer för när det är lönsamt att gallra ett bestånd utifrån dess inom-beståndsvariation, och hur stor andel av beståndet som uppvisar gallringsbehov.

För att skapa dessa riktlinjer gjordes ett urval av bestånd från Bergvik Skogs företagstaxering (material). Bestånden delades upp i klasser avseende inom-beståndsvariation för höjd (databearbetning). Sedan genomfördes en simulering av skogsskötsel i bestånden under en 100-årsperiod (simulering). Efter simuleringen undersöktes de ekonomiska utfallen och dessa användes som underlag för resultatet (Analys och tolkning av resultat). Arbetets försöksdesign illustreras i figur 4.



Figur 4. Illustration av arbetets huvudsteg

Figure 4. Illustration of the main steps in this study

produktiv skogsmark. Områdets åldersklassfördelning visas i figur 6. Bestånden är typiska för den här delen av landet och består till majoriteten av gran. Trädslagens andelar av volymen är gran 46%, tall 41%, löv 12% och contorta 2%. Området valdes som studieområde på grund av dess stora andel gallringsmogen skog.

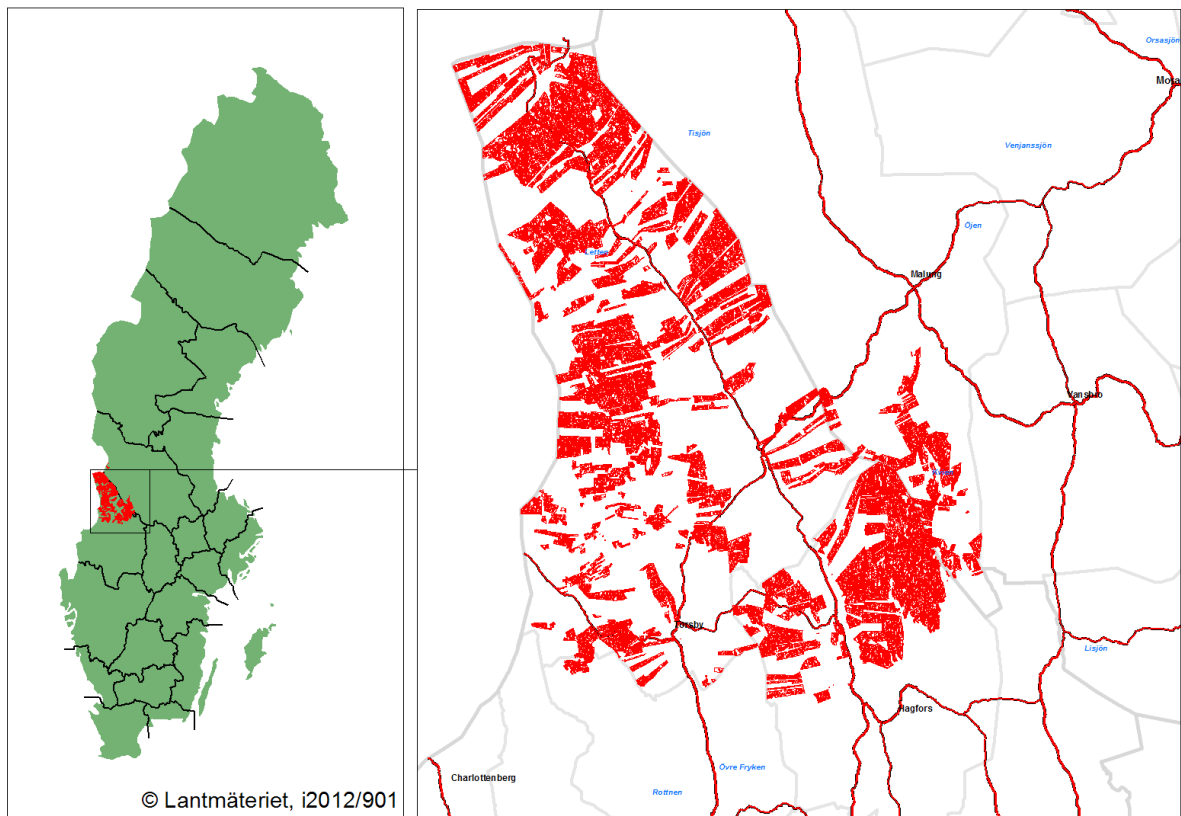
Området inventerades objektivt under fältsäsongen 2006 som en del av Bergvik Skogs företagstaxering. Taxeringen genomfördes med en metod, ursprungligen framtagen för Skogshögskolans datorprogram Indelningspaketet, vilken omarbetats av OL Skogsinventering AB för att passa Bergvik Skogs behov (OL Skogsinventering AB 2006).

Provyteutläggningen skedde i slumpmässigt utvalda avdelningar, som stratifierats efter ålder och stående volym i avdelningsregistret. I varje avdelning slumpades 10 provytor ut – vilket resulterade i totalt 956 provytor i 100 bestånd inom området. Efter fältbesök har vissa ändringar gjorts rörande avdelningarnas gränser vilket resulterade i att vissa bestånd delades upp i mindre enheter. Eftersom inga nya provytor lottades ut i de nytillkomna bestånden har dessa färre än 10 provytor. Antalet bestånd ökade till 183 efter uppdelningen.

De 183 bestånden och deras inmätta data låg sedan till grund för databearbetningen i arbetets nästa steg.

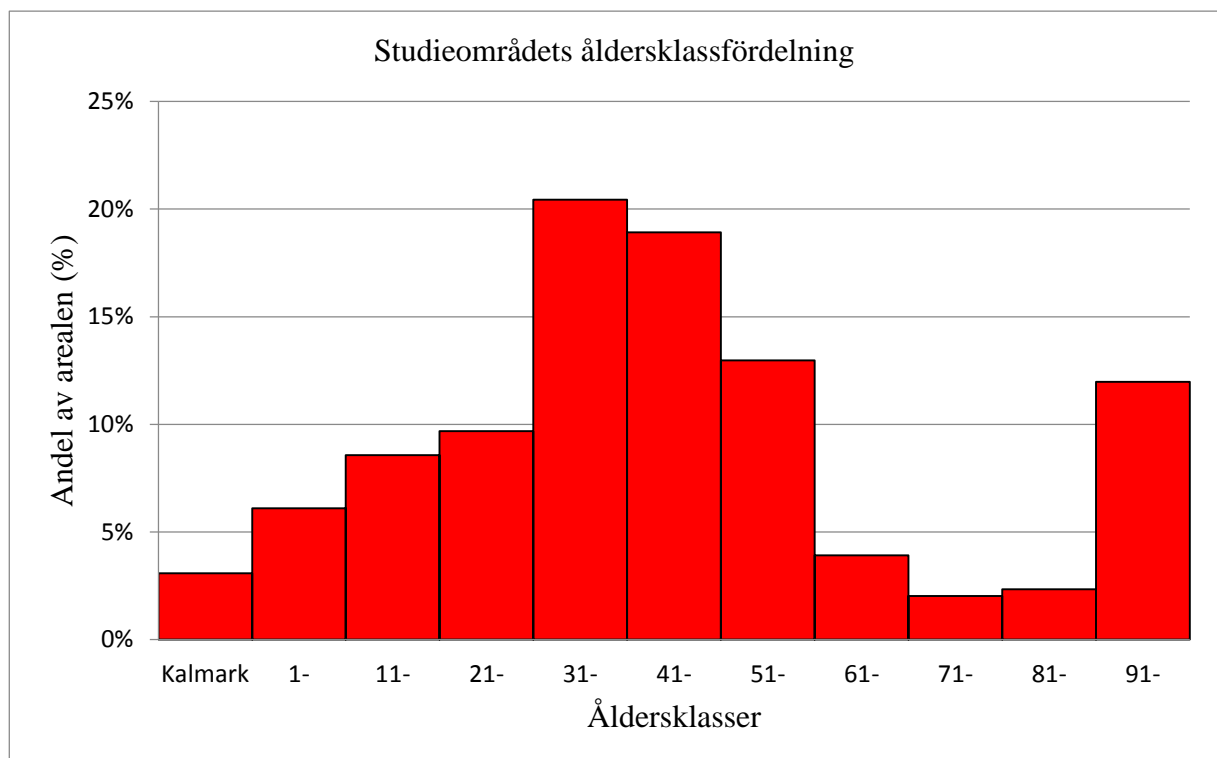
Material

Studieområdet för analysen var Bergvik Skogs markinnehav i de nordvästra delarna av Värmlands län samt mindre områden i Dalarnas län. En karta över området visas i figur 5. Totalt omfattar området 165 808 hektar skogsmark, varav 159 243 hektar är



Figur 5. Karta med studieområdet markerat i rött

Figure 5. Map with area studied coloured in red



Figur 6. Studieområdets åldersklassfördelning vid utgångsläget

Figure 6. The age distribution at the initial state of the area studied

Databearbetning – uppdelning i klasser

Eftersom målet med det här arbetet var att undersöka ekonomiska brytpunkter vid gallringar i bestånd av olika heterogenitetsklasser var dessa klasser tvungna att definieras. Det gjordes genom att sortera bestånden från studieområdet i en tabell efter inom-beståndsvariation och dela upp tabellen i tre lika stora delar.

Som mått på inom-beståndsvariation för det här arbetet valdes den relativa standardavvikelsen för den grundtevägda medelhöjden, dvs standardavvikelsen för höjdsfattningen mellan provtyor i samma bestånd dividerat med medelvärdet för beståndet. Anledningen till att just den relativa standardavvikelsen för höjden valdes som spridningsmått är att höjden är den variabel som säkrast skattas via flygburen laserskanning (Nordkvist et al. 2013; Barth 2008), samt att beräkningen av relativ standardavvikelse är en enkel statistisk operation (Holm 2012). Att den relativa spridningen användes istället för den absoluta minimerade dessutom det fel som beror på att bestånd med hög medelhöjd och därmed hög medelålder har större absolut spridning. Om felet inte hade minimerats skulle det ha lett till att unga och låga bestånd hade blivit överrepresenterade i den mest homogena klassen, vilket i sin tur hade lett till fel och skillnader i de ekonomiska analyserna. Närvaron av felet i datatset bekräftades av ett antal statistiska analyser med programvaran Minitab.

- Ett korrelationstest enligt Pearsson mellan grundtevägd medelhöjd och den absoluta standardavvikelsen för densamma gav en korrelationskoefficient på 0,415 med ett p-värde mindre än 0,001, vilket ansågs mycket signifikant på 0,05-nivån. Det var alltså sannolikt att det förelåg en relativt stark korrelation mellan medelhöjden och dess absoluta variation.
- Ett korrelationstest enligt Pearsson mellan grundtevägd medelhöjd och den relativa standardavvikelsen för densamma gav en korrelationskoefficient på -0,176 med ett p-värde på 0,028, vilket ansågs signifikant på 0,05-nivån. Det var alltså sannolikt att det förelåg en negativ korrelation mellan medelhöjden och dess relativa variation. Dock var korrelationen mycket svag.
- Ett korrelationstest enligt Pearsson mellan medelålder och den absoluta standardavvikelsen för höjden gav en korrelationskoefficient på 0,275 med ett p-värde på 0,001, vilket ansågs signifikant på 0,05-nivån. Det var alltså sannolikt att det förelåg en korrelation mellan medelåldern och höjdens absoluta variation. Dock var den relativt svag.
- Ett korrelationstest enligt Pearsson mellan medelålder och den relativa standardavvikelsen för höjden gav en korrelationskoefficient på -0,098 med ett p-värde på 0,226, vilket inte ansågs signifikant på 0,05-nivån. Det var alltså sannolikt att det inte förelåg någon korrelation mellan medelåldern och höjdens relativa variation.

De 27 bestånd som inte hade något värde på spridningen eller värdet noll exkluderades ur analysen då dessa avvikande värden beror på att bestånden enbart har en provyta eller att medelhöjden är angiven som noll. Det slutgiltiga materialet som gick vidare till simuleringen bestod efter denna utsortering av totalt 156 bestånd.

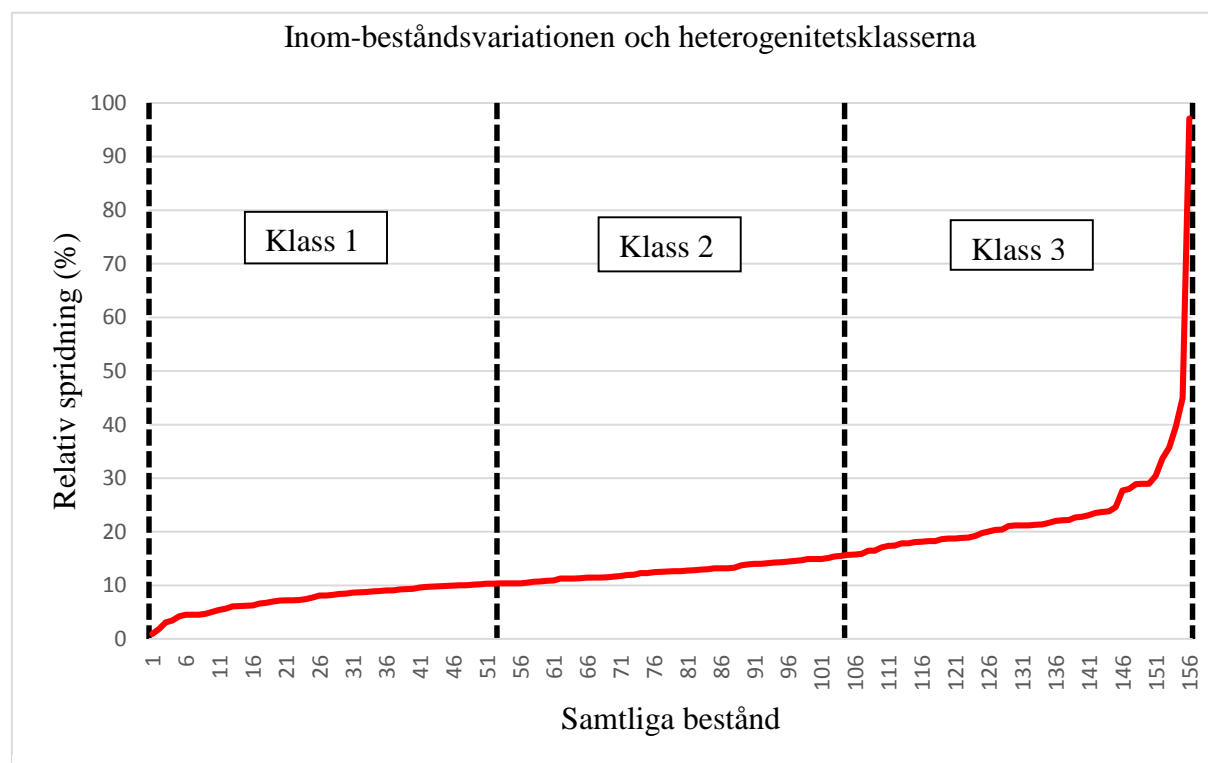
Datasetets tre delar, varje del med 52 bestånd, fick varsin heterogenitetsklass, klass1 står för homogent bestånd med en inom-beståndsvariation från 0 till 10,3 % i relativ standardavvikelse avseende höjd. Där 2 står för intermediärt bestånd med en inom-beståndsvariation från 10,3 till 15,5 % i relativ standardavvikelse avseende höjd och 3 står för heterogent bestånd med en inom-beståndsvariation från 15,5 till 100 % i procentuell standardavvikelse avseende höjd. Alla bestånds relativa standardavvikelse och indelningen i klasser visas i figur 7. Skogliga arealvägda medelvärden för klasserna visas i tabell 1.

När bestånden delades upp efter ovan beskrivna metod gjordes antagandet att resterande delar av Bergviks Skogs innehav har en liknande struktur som studieområdet.

Tabell 1. Tabell över skogliga data för de olika heterogenitetsklasserna och hela studieområdet sammantaget (1 = homogent, 2 = intermediärt, 3 = heterogent)

Table 1. Table showing forest data for the different heterogeneity classes and the whole area studied (1 = homogeneous, 2 = intermediate, 3 = heterogeneous)

Klass	Grundyt a (m ²)	TGL (%)	Dgv (cm)	Hgv (m)	Medelålder (år)	LSÅ (år)	Stamantal (st)	Volym (m ³)	Andel av arealen
1	19,99	47 37 12	17,11	13,78	51,78	67,00	1343,83	157,73	29 %
2	18,30	33 48 14	15,18	12,29	49,05	65,75	1525,91	133,87	32 %
3	15,42	30 52 14	14,40	10,96	46,83	67,30	1466,05	108,78	35 %
Tot.	17,76	37 46 13	15,48	12,25	49,07	66,69	1449,48	131,92	100 %



Figur 7. Fördelningen av alla 156 bestånd i arbetet och deras relativa spridning avseende höjd samt uppdelningen av dessa i klasser

Figure 7. The distribution of all stands in this study with their relative variation in height and the dividement in heterogeneity classes

Simulering

Materialet som sorterats i heterogenitetsklasser användes i Heureka PlanVis för att simulera skogsbruk under 100 år.

Heureka PlanVis

PlanVis är en del programvarusviten Heureka som utvecklats av institutionen för skoglig resurshushållning vid SLU (Wikström et al. 2011; Lämås et al. 2003; Heureka Wiki). Programvarans syfte är att användas till långsiktig planering och optimering av skogsskötsel på medelstora till stora skogsinnehav. Programmet bygger på en mängd modeller som samtliga används tillsammans för att simulera ett så realistiskt skogsbruk som möjligt. Det finns till exempel modeller för tillväxt, avgång och inväxning av träd som alla används för att beskriva skogsstillståndet vid olika tidpunkter framåt i tiden. Det finns också modeller som anger hur träd svarar på friställningar som röjning och gallring men även hur andra åtgärder påverkar beståndet. För att kunna göra ekonomiska analyser finns även funktioner för kostnader och intäkter för åtgärder. Systemets ingående delar baseras på skilda forskningsprojekt som bedrivits vid SLU och andra universitet och institut. En beskrivning av Heurekas delar finns på Heureka Wikins webbsida (Heureka Wiki).

Grunden för PlanVis är data om det enskilda trädet. Alla variabler för trädskiktet utgår från dessa data. Det behövs dock inte nödvändigtvis matas in data om specifika träd. Systemet kan generera trädlistor från medelvärden baserade på provytor eller hela bestånd. I det här arbetets fall användes data som matats in Indelningspaketet – därmed fanns data för enskilda träd fördelade på ett antal provytor per bestånd.

PlanVis genererar en mängd skötselalternativ för varje bestånd baserat på vilken skogsskötsel som tillåts. Alternativen är en följd av åtgärder av olika varianter under planeringsperioden – vilka påverkar tillväxt, ekonomiskt utfall, utfall av andra nyttor eller andra faktorer på olika sätt. Användaren väljer sedan det alternativ som bäst uppfyller målet för skogsskötseln – exempelvis högsta nettonuvärde, största mängden död ved eller högsta rekreationsvärde.

Inställningar i Heureka PlanVis

Inställningarna som gjordes i PlanVis syftade till att efterlikna Bergvik Skogs skötsel så gott som möjligt. Som underlag användes de inställningar Bergvik Skog använder när företaget räknar på sitt eget innehav. Ändringarna från grundinställningarna i sammandrag var som följer:

Under Treatment Model (Skötselmodell) ställdes föryngringsmetoden in som kalavverkning med efterföljande markberedning efter 2 år och plantering av det för platsen bonitetsvisande trädslaget efter 3 år. Användning av förädlad material simulerades. Målet för röjningar sattes till att trädslagsfördelningen efter åtgärd skulle vara 8 % björk och 92 % det planterade trädslaget. Båda trädslagen skulle få en relativ höjd på 1,1, dvs medelhöjden för beståndet ska vara 10 % högre efter åtgärd än före. För att ett bestånd skulle röjas var stamantalet tvunget att överstiga stamantalsmålet med 300 stammar per hektar. Låggallring efter Bergvik Skogs gallringsmall för stamtäthet simulerades med Hugins gallringsalgoritm. Krav sattes att minst 3 % och max 95 % av träden gallras bort i varje trädlista vid varje gallring. Högsta tillåtna höjd vid förstagallring sattes till 15 m, den högsta höjden vid någon gallring till 20 m.

Ändringar gjorda i tabellen Cost and Revenues (Kostnader och inkomster) redovisas inte i detta arbete då dessa är att klassa som företagshemligheter. Den prislista som användes i grunden är defaultprislistan i Heureka, vilken är Mellanskogs prislista från 2013.

I tabellen Production Model (Produktionsmodell) gjordes ändringar i definitionen för vid vilken höjd träd övergår från ungskog till mogen skog – höjden sattes till 9 meter. Heureka tilläts inte kalibrerar trädåldern med data från datamaterialet och inväxningsmodellen stängdes av.

I tabellen Treatment Program generator (Genererare av Skötselalternativ) ställdes som krav att gallring alltid skulle ske samma femårsperiod som gallringsbehovet uppstår – gallringar fick alltså inte skjutas upp. Gallringar som hade en starkare uttagsprocent än 40 % sattes att vara högprioriterade. Heureka tilläts förlänga omloppstiderna med 10 % och lägga gallringar i direkt följd efter varandra.

Användningen av Heureka PlanVis

PlanVis användes till att simulera skogsbruk på hela studieområdet enligt Bergvik Skogs riktlinjer. Totalt genomfördes 101 simuleringar där alla förhållanden var lika förutom kravet på lägsta andel gallringsbara provytor innan gallring (i PlanVis kallat Minimum Proportion of Thinnable Plots) – som varierades från 0% till 100%. Det den inställningen anger är hur många procent av provytorna inom beståndet som måste ligga inom gallringsmallens övre del innan gallring simuleras på samtliga provytor. Andelen provytor som behöver gallras kan användas som gallringsbehovskvot – och därmed kan man genom att variera inställningen Minimum Proportion of Thinnable Plots studera gallringsbehovskvotens effekt på det ekonomiska resultatet.

Varje simulering gjordes genom att låta PlanVis generera maximalt 100 skötselalternativ per bestånd, vid en kalkylränta på 3% under en period av 100 år. Alternativen för skötseln i varje bestånd sorterades efter totalt nettonuvärde – och det som valdes var det alternativ som hade högst dito.

Det totala nettonuvärdet och markvärdet för hela området fördelat på de tre heterogenitetsklasserna användes som resultat från körningarna. Med dessa beräknades värden per hektar för respektive klass.

Nettonuvärde i Heureka PlanVis

Nettonuvärdesberäkningar är ett bra sätt att jämföra olika skötselprogram eftersom beräkningarna sammanför ekonomiska resultat över en längre tid, vilket oftast är fallet för skogsskötsel (Ekvall & Bostedt 2009). Nettonuvärdet för ett skötselprogram i Heureka PlanVis beräknas genom att summera alla nettointäkter och nettokostnader för alla omloppstider under planeringsperioden diskonterade till planeringsperiodens början. Till det värdet adderas diskonterade netton från åtgärder som inträffar efter planeringsperiodens slut under den sist påbörjade omloppstiden. Slutligen adderas markvärdet för alla framtida omloppstider diskonterade från tidpunkten för den sista omloppstidens slut.

Nettonuvärdet (NPV) för ett skötselprogram för ett visst bestånd, givet att beståndet avverkas före planeringsperiodens slut, beräknas som:

$$NPV = \sum_{q=1}^T \frac{R_q}{(1+r)^q} + \frac{MV}{(1+r)^T}$$

där T är året för slutavverkning av nuvarande generation, R_q är nettointäkt eller –kostnad för skogsskötsel eller avverkning år q för nuvarande generation, r är kalkylräntan och MV är markvärdet. Markvärdet beräknas som:

$$MV = \frac{1}{1 - \left(\frac{1}{1+r}\right)^u} * N1$$

där $\frac{1}{1 - \left(\frac{1}{1+r}\right)^u}$ är upprepningsfaktorn enligt Faustmann för en oändlig serie generationer med omloppstiden u år och där $N1$ är nettonuvärdet av en framtida generation vid generationens början. Nuvärdet av en framtida generation $N1$ med ett skötselprogram bestående av markberedning (Mb) plantering (Pl), röjningar (Rö), gallringar (G) och slutavverkning (Avv) beräknas som:

$$N1 = \frac{Mb}{(1+r)^{t_{Mb}}} + \frac{Pl}{(1+r)^{t_{Pl}}} + \sum_{i=1}^n \frac{Rö_i}{(1+r)^{t_{Rö_i}}} + \sum_{j=1}^o \frac{G_j}{(1+r)^{t_{G_j}}} + \frac{Avv}{(1+r)^{t_{Avv}}}$$

där Mb är nettot för markberedningen i SEK, t_{Mb} är året för markberedningen, Pl är nettot för planteringen i SEK, t_{Pl} är året för planteringen, $Rö_i$ är nettot i SEK för röjning nr i av totalt n st, $t_{Rö_i}$ är året för röjning nr i av totalt n st, G_j är nettot för gallring i SEK nr j av totalt o st, t_{G_j} är året för gallring nr j av totalt o st, Avv är nettot för avverkningen i SEK, t_{Avv} är året för avverkningen.

Heureka summerar sedan nettonuvärden, NPV , för alla bestånd. Det är detta slutgiltiga värde som sedan användes för att beräkna medelvärdet i SEK/ha – vilket är vad som ligger till grund för det här arbetet.

RESULTAT

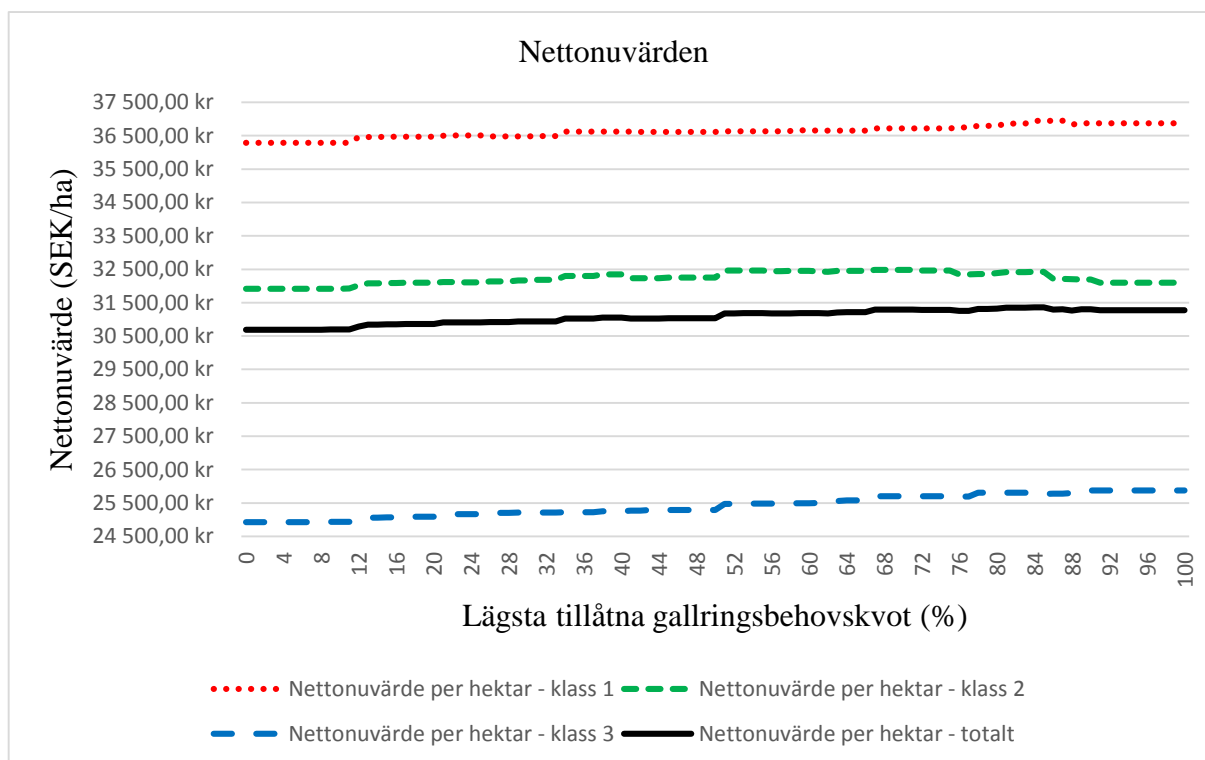
Simuleringarna i Heureka resulterade i 303 värden för nettonuvärde per hektar vid olika gallringsbehovskvoter och heterogenitetsklasser. Alla resultat visas i tabell 2.

Resultaten presenteras överskådligt i figur 8. Generella mönster är att lägsta nettonuvärde inträffar vid lägsta möjliga gallringsbehovskvot, dvs 0 %.

För klass 1, den homogena klassen, gav gallringsbehovskvoterna 86-87 % högst nettonuvärde per hektar om 36 948 SEK/ha, vilket visas i figur 9. För klass 2, den intermediära klassen, gav gallringsbehovskvoterna 67-71 % högst nettonuvärde per hektar om 32 480 SEK/ha, vilket visas i figur 10. För klass 3, den heterogena klassen, gav gallringsbehovskvoten 89 % högst nettonuvärde per hektar om 25 881 SEK/ha, vilket visas i figur 11. För hela studieområdet sammantaget gav gallringsbehovskvoten 84 % högst nettonuvärde per hektar om 31 364 SEK/ha, vilket visas i figur 12.

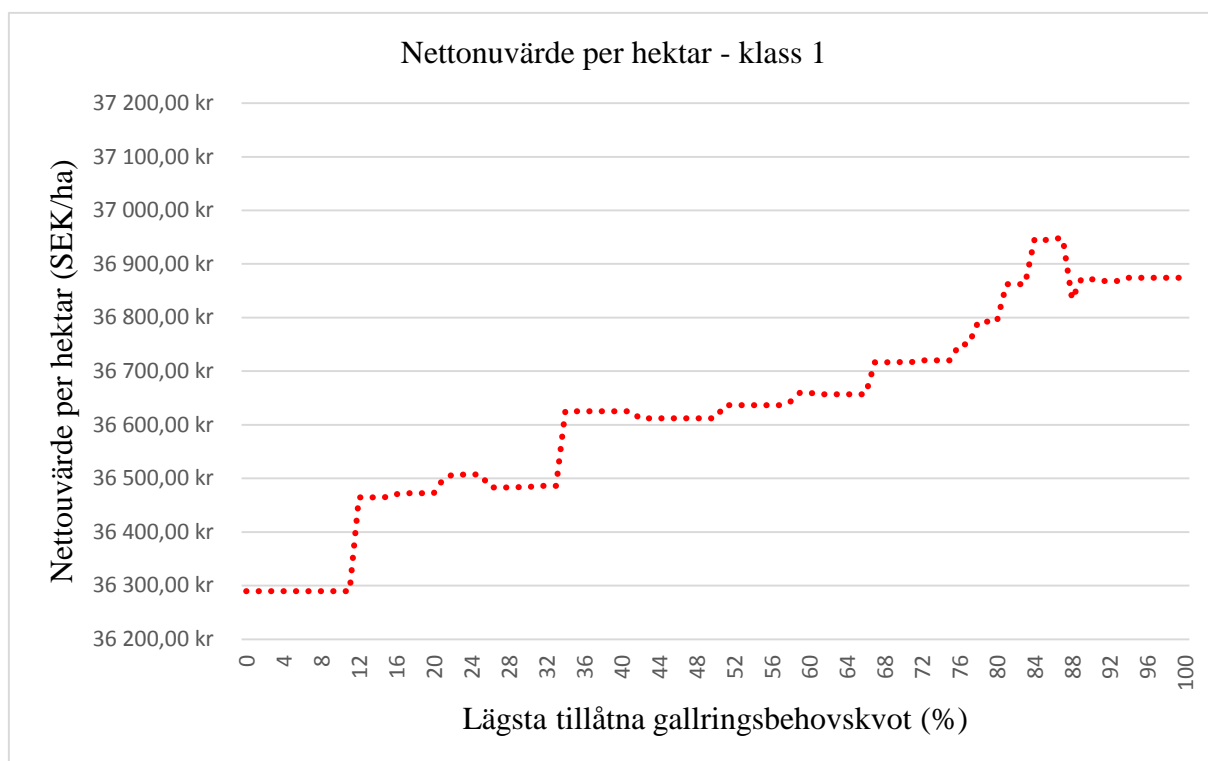
Amplituden mellan högsta och lägsta resultat för klass 1 658 SEK, för klass 2 var den 561 SEK, för klass 3 var den 955 SEK och för hela området sammantaget var den 673 SEK.

Medelvärde för klass 1 var 36 624 SEK/ha. Samma värde var 32 234 SEK/ha för klass 2 och 25 414 SEK/ha för klass 3. För hela området sammantaget var medelvärdet 31 075 SEK/ha.



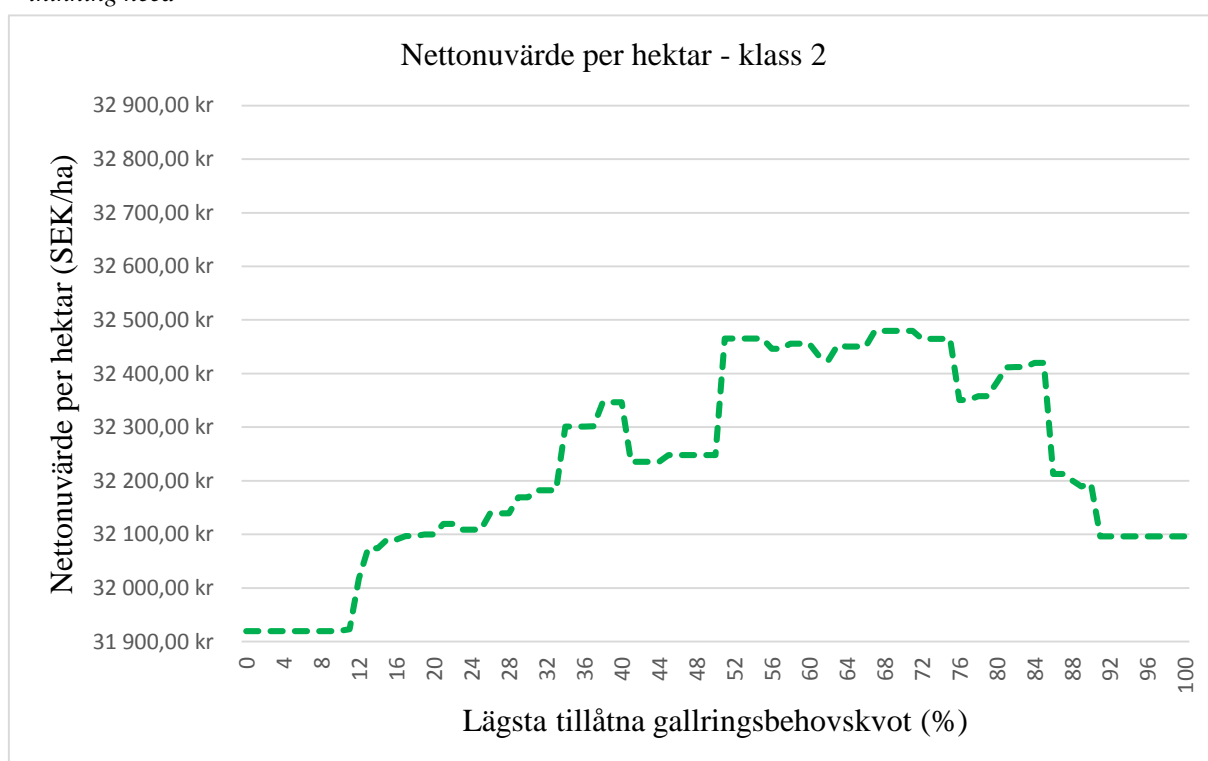
Figur 8. Diagram som visar nettonu värden per hektar för heterogenitetsklass 1, 2, och 3 samt för hela studieområdet sammantaget

Figure 8. Chart showing the net present values per hectare for heterogeneity class 1, 2, 3 and for the whole area studied



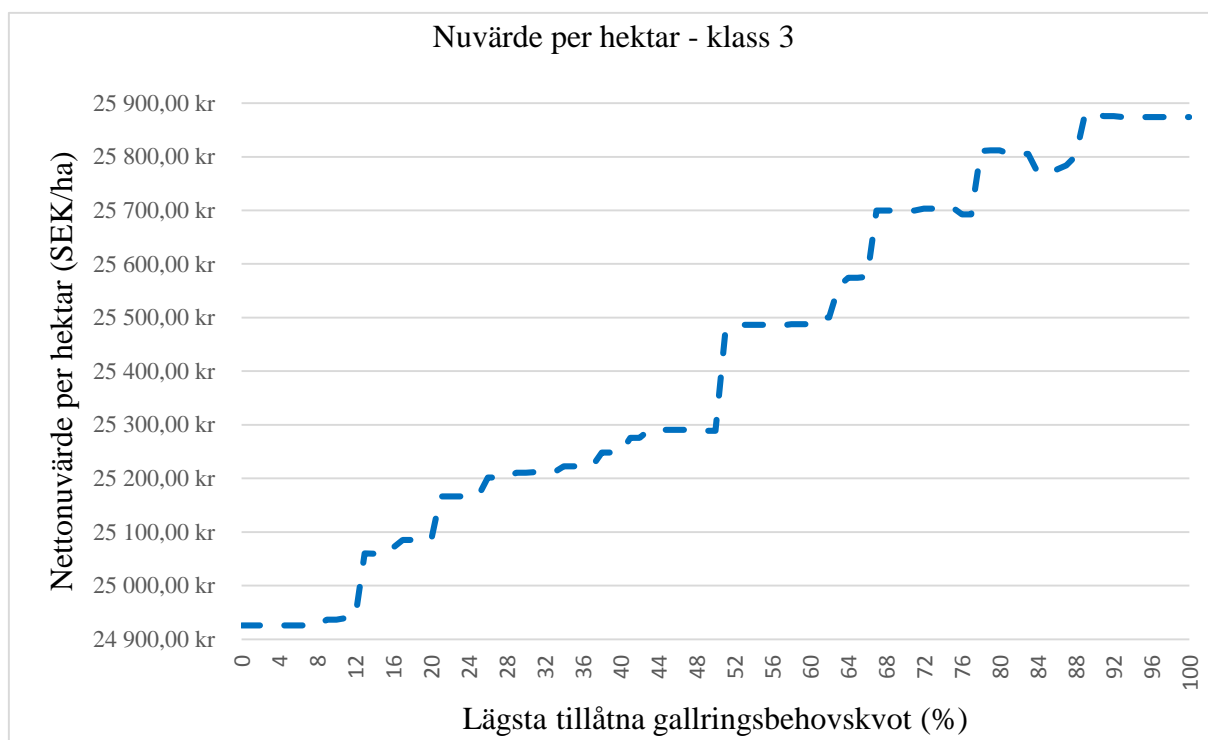
Figur 9. Diagram som visar nettonvärde per hektar för heterogenitetsklass 1 vid olika gallringsbehovskvoter

Figure 9. Chart displaying net present value per hectare for heterogeneity class 1 at different quotas of thinning need

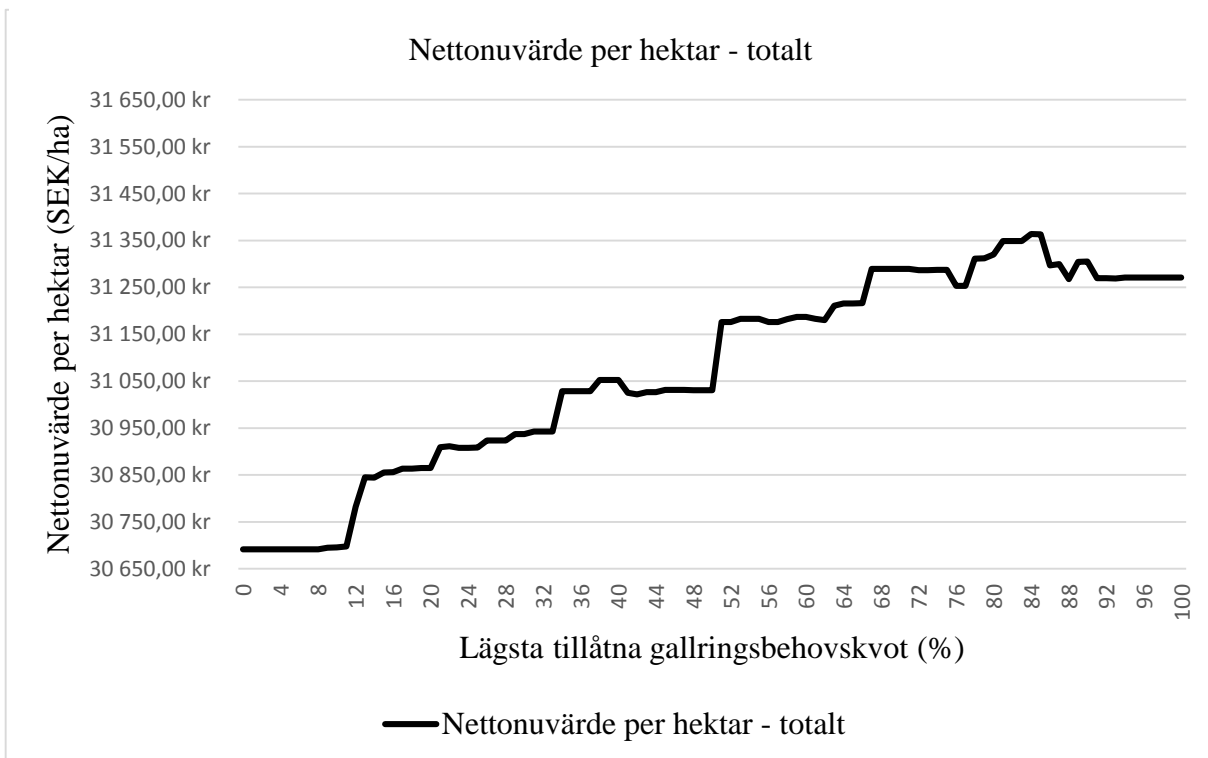


Figur 10. Diagram som visar nettonvärde per hektar för heterogenitetsklass 2 vid olika gallringsbehovskvoter

Figure 10. Chart displ. net present value per hectare for heterogeneity class 2 at different quotas of thinning need



Figur 11. Diagram som visar nettonuvärde per hektar för heterogenitetsklass 3 vid olika gallringsbehovskvoter
Figure 11. Chart displ. net present value per hectare for heterogeneity class 3 at different quotas of thinning need



Figur 12. Diagram som visar nettonuvärde per hektar för hela studieområdet vid olika gallringsbehovskvoter
Figure 12. Chart displaying net present values per hectare for the whole area studied at different quotas of thinning need

Tabell 2. (sida 23) – Tabell som visar alla resultat från simuleringar i Heureka. Maxvärdena är markerade med understrykning. (De gallringsbehovskvoter som gett samma resultat som föregående kvot har rensats bort.)
Table 2 (page 23) – Table that shows all results from the simulations in Heureka. The maximum values are underlined. (Quotas which have given the same result as the quota below have been removed.)

Lägsta tillåtna gallringsbehovskvot (%)	Nettonuvärde per hektar - klass 1 (SEK/ha)	Nettonuvärde per hektar - klass 2 (SEK/ha)	Nettonuvärde per hektar - klass 3 (SEK/ha)	Nettonuvärde per hektar - totalt (SEK/ha)
0	36289,7	31919,3	24926,0	30691,3
1	36289,5	31919,3	24926,0	30691,2
4	36289,5	31919,3	24926,0	30691,2
5	36289,5	31919,3	24926,0	30691,2
9	36289,5	31919,3	24936,5	30695,1
10	36289,5	31919,9	24936,5	30695,3
11	36289,5	31923,0	24939,3	30697,3
12	36464,7	32017,6	24941,4	30782,5
13	36464,7	32074,2	25060,2	30844,7
14	36464,7	32074,2	25059,8	30844,6
15	36465,4	32090,1	25074,0	30855,3
16	36470,8	32090,1	25070,9	30855,7
17	36472,2	32096,9	25085,1	30863,6
19	36472,2	32100,1	25085,1	30864,7
20	36472,2	32100,1	25085,1	30864,7
21	36499,3	32119,5	25166,7	30909,0
22	36507,4	32119,5	25166,7	30911,4
23	36507,4	32108,9	25166,7	30907,9
24	36507,5	32108,9	25166,7	30907,9
25	36507,4	32108,9	25168,3	30908,5
26	36483,5	32139,1	25201,4	30923,5
29	36483,8	32169,4	25210,5	30937,1
31	36485,9	32182,5	25211,8	30942,6
34	36625,3	32300,9	25222,8	31028,3
37	36625,3	32302,0	25222,8	31028,6
38	36625,3	32346,6	25248,0	31052,8
41	36625,2	32235,5	25275,8	31025,5
42	36611,8	32235,5	25275,8	31021,4
43	36612,1	32235,4	25290,4	31026,8
45	36612,1	32248,2	25290,4	31031,1
47	36612,1	32248,2	25290,4	31031,1
48	36612,1	32248,2	25288,9	31030,6
51	36636,4	32465,1	25468,8	31176,2
53	36636,4	32465,1	25486,6	31182,7
56	36636,4	32446,1	25485,5	31175,9
58	36643,2	32456,0	25487,5	31182,0
59	36659,8	32456,0	25487,5	31187,0
61	36656,8	32433,6	25500,0	31183,0
62	36656,8	32424,2	25500,0	31179,9
63	36656,8	32451,9	25559,1	31210,7
64	36656,8	32450,4	25574,5	31215,8
66	36656,8	32450,4	25576,1	31216,3
67	36716,8	<u>32479,9</u>	25699,4	31289,1
70	36717,4	<u>32479,9</u>	25699,4	31289,3
72	36720,4	32464,6	25703,4	31286,5
74	36720,4	32464,6	25705,8	31287,3
76	36749,8	32350,5	25692,7	31253,1
78	36792,6	32357,6	25811,1	31311,3
79	36792,6	32357,6	25812,3	31311,8
80	36792,6	32383,3	25812,3	31320,4
81	36862,7	32411,9	25805,6	31348,6
82	36862,7	32412,0	25805,6	31348,6
84	36946,6	32420,0	25770,3	<u>31363,7</u>
85	36944,4	32420,0	25770,3	31363,1
86	<u>36947,6</u>	32212,9	25776,4	31296,6
87	<u>36947,6</u>	32212,9	25784,1	31299,4
88	36834,6	32200,5	25801,2	31267,5
89	36871,8	32189,6	<u>25881,2</u>	31304,1
90	36871,8	32194,9	25879,3	31305,1
91	36868,4	32096,1	25876,2	31269,7
93	36868,4	32096,1	25874,3	31269,1
94	36874,3	32096,1	25874,3	31270,8

DISKUSSION

Heterogenitetsklasserna

Heterogenitetsklass 1

Hypotesen var att klass 1 skulle vara den klass som fick högst nettonuvärde – vilket visade sig stämma. Erfarenhetsmässigt leder skogsbruk i homogena skogar till bättre ekonomiska resultat vilket också visades i resultaten från Pukkalas och Miinas studie (2005). Dock inträffade maximum i klass 1 vid en mycket högre gallringsbehovskvot än väntat. Den delen av resultatet är svårförklarad. Det finns några troliga anledningar till den högre kvoten. Det behövs dock ytterligare studier för att fastslå dem.

Ett homogent bestånd kommer drabbas av större absoluta produktionsförluster om gallring utförs för tidigt i för stor andel av beståndet jämfört med samma åtgärd i ett heterogent bestånd eftersom homogena bestånd har störst tillväxt. Homogena bestånd har också större virkesförråd och bättre drivningsförutsättningar (större diameter, större grundyta o dyl. enligt tabell 1). Vilket leder till att ett felaktigt ingrepp i tid kommer resultera i ekonomiska förluster. När det väl genomförs åtgärder i beståndet sker det alltså inte lika stora kompromisser mellan de delar som har gallringsbehov och de som inte har nått tillfredställande täthet och därför kan högre gallringsbehovskvot inväntas.

I ett homogent bestånd kommer större andel av arealen få gallringsbehov samtidigt eller inom en mycket kort tidsperiod. Det leder till att man kan tillåta sig att invänta tidpunkten då en majoritet av arealen har gallringsbehov innan gallring utförs – vilket leder till ett bättre ekonomisk avkastning och högre gallringsbehovskvot.

Heterogenitetsklass 2

Klass 2 generade ett nettonuvärde per hektar som ligger mellan klass 1 och klass 3, vilket följer hypotesen och resultaten från studien av Pukkala och Miina (2005).

Klass 2 uppvisade ett maximalt nettonuvärde vid en betydligt lägre gallringsbehovskvot än de övriga klasserna. Denna grupp av bestånd uppvisar optimum vid kvoterna 66-71 %, vilket är en nivå som bättre stämmer överens med hypotesen (ca 50 %) – men inte fullständigt. Anledningen till de lägre kvoterna är även i klass 2s fall svårförklarad. Troligtvis beror det i någon mån på att klass 2 i större grad liknar en ”normalskog”, så som den traditionellt beskrivs. Den är varken homogen eller heterogen – utan någonstans i mitten av skalan. Den drabbas inte i samma utsträckning som klass 1 av produktionsförluster vid för tidiga ingrepp, men har jämför med klass 3 en tillräckligt grov medelstam för att tidiga ingrepp som syftar till att öka homogeniteten lönar sig sett över hela omloppstiden.

Eftersom klass 2 bara är några procentenheter mer varierad än klass 1 visar resultaten att det kan löna sig att i ett tidigt skede av omloppstiden göra bestånd mer homogena genom riktade åtgärder. Detta följer av resultaten från Fahlviks studie (2005). Marginalkostnaden för att åtgärda ett bestånd så att det ingår i klass 1 i stället för klass 2 antas vara relativt låg (t ex annorlunda inriktning på gallringen) – men nyttan torde vara stor (ca 4000 SEK per hektar i nettonuvärde enligt detta arbetes resultat). Liknande resonemang kan göras i bestånd som tillhör klass 3 – men det är möjligt att förtjänsten inte är lika stor eftersom variationen i klass 3 är mycket större (15,5 – 100% relativ standardavvikelse).

Klass 2 uppvisade den minsta skillnaden mellan högsta och lägsta nettonuvärde. Detta kan innebära att det spelar mindre roll vid vilken gallringsbehovskvot man väljer att gallra i klass 2 än de övriga – eftersom skillnaden i ekonomiska avkastning mellan det optimala och det inoptimala är mindre denna klass jämfört med de övriga.

Heterogenitetsklass 3

Hypotesen om att klass 3 skulle erhålla det lägsta nettonuvärdet av de tre klasserna stämde. Detta förklaras antagligen bäst genom den stora variationen i dessa bestånd, vilket erfarenhetsmässigt leder till sämre ekonomiskt resultat vid drivning. Det hänger också ihop med att klass 3 generellt sett har lägre värden på sina skogliga variabler gentemot de andra två klasserna, vilket viss i tabell 1. Sammantaget genererar skillnaden i variablerna lägre nettointäkt per avverkad kubikmeter skogsråvara till följd av lägre produktion vid avverkning (Brunberg 2007). Dessutom minskar intäkterna på grund av låg andel tall, vilken har högt timmerpris.

Att klass 3 hade en så pass högre gallringsbehovskvot än klass 2 förklaras på liknande sätt som det faktum att den har lägst nettonuvärde, dvs att det beror på den låga medeldiametern och andra skogliga variabler. Det medför ett dåligt drivningsnetto, vilket Heureka kompenserar med en högre gallringsbehovskvot för att utjämna de lägre intäkterna. Med andra ord, den vinsten som görs på att gallra stora delar av beståndet i rätt tid ska uppväga de förluster som sker på grund av beståndets variation och klena medelstam.

Klass 3 var den klass med störst skillnader mellan högsta och lägsta nettonuvärde. Skillnaden var ca 300 kronor högre än för de andra två klasserna. En sådan stor variation tyder på att det är mycket viktigt att sköta denna typ av skogar med tanke på gallringsbehovet. Det finns alltså stora möjligheter till att förbättra det ekonomiska resultatet om man innehar goda kunskaper om hur gallringsbehovet fördelar sig geografiskt.

Alla klasser sammantaget

För det totala innehavet sett över samtliga klasser ligger det största nettonuvärdet vid kvoten 84 %, vilket är betydligt högre än vad som var förväntat. Detta förklaras genom att klass 1, som var den klass som erhöll det högsta nuvärdet, väger tungt i jämförelse med de andra klasserna. Denna klass var dock inte den största sett till areal, utan det var klass 3 med sina 55 342 ha.

Felkällor och potentiella förbättringar

Det finns ett antal felkällor för detta arbete. Dessa beskrivs och diskuteras nedan.

Uppdelningen i klasser

Vid uppdelningen i heterogenitetsklasser valdes variationen i höjd som faktor. Det medförde ett antal möjliga fel och möjlighet till förbättringar. Dels fanns en mycket svag negativ korrelation mellan den relativa standardavvikelsen och ålder – vilket gjorde att den homogena klassen var något äldre än de mer heterogena, vilket bekräftas av tabell 1. Att klass 1 var något äldre än de övriga borde ha medfört att den klassen fått ett något högre nuvärde än vad den annars skulle ha fått, eftersom den första slutavverkningen generellt sett sker tidigare, vilket bidrar starkt till nuvärdet. I tabell 1 framgår också att medelvärdet för lägsta avverkning ålder var lägre för klass 2, vilket borde medföra att klass 2 har något högre medelbonitet (eftersom lägsta slutavverkning ålder enligt lagen främst beror på ståndortsindex).

Bergvik Skogs gallringsmall bygger på stamantal som täthetsmått. Därför fanns det kanske en anledning att bygga heterogenitetsklasserna efter variation i stamantal istället för i medelhöjd. Dock är stamantal svårare att skatta med laserskanning, och därför gjordes avvägningen att indelningen skulle göras efter höjd istället (Nordkvist et al. 2013). Beräkningen av gallringsbehov i det skogliga rastret bygger därför på Skogsstyrelsens gallringsmall (Skogsstyrelsen 1985), istället för Bergvik Skogs egen, eftersom skattningen av stamantal är för osäker.

Då grundytans korrelation med den grundtevägda medeldiametern i materialet enligt korrelationstest var stark (0,752 med ett p-värde mindre än 0,001) kunde det antas att den starka korrelationen mellan den relativa spridningen i Hgv och den relativa spridningen i Dgv även gällde för variationen i Hgv och grundyta (korrelationerna visas i tabell 3). Det medförde att om det är grundytan som låg till grund för beräkningen av gallringsbehov – borde heterogenitetsklasserna kunna byggas på variationen i höjd utan större fel.

När indelningen i klasser gjordes sorterades alla bestånd med värdet noll eller ”inget värde” bort. En utsortering av outliers, dvs abnorma värden, hade också kunnat göras. Om man studerar figur 7 ser man att den relativa spridningen är mycket hög för några få bestånd – dessa bestånd innehåller i många fall ett överståndarskikt. Om dessa avvikande bestånd tagits bort ur materialet hade resultaten möjligtvis kunnat bli skarpare.

Tabell 3. Visar korrelationer (och deras p-värden) mellan de relativa variationerna för grundtevägd medelhöjd (Hgv), grundtevägd medeldiameter (Dgv), volym och stamantal i arbetets material.

Table 3. Shows correlations (and their P-values) between the relative variations of basal area weighted mean height, basal area weighted mean diameter, volume and number of stems in the material of this study.

	Hgv	Dgv	Volym
Dgv	0,896	1	
P-värde	< 0,000	*	
Volym	0,437	0,290	1
P-värde	< 0,000	< 0,000	*
Stamantal	-0,034	0,041	0,548
P-värde	0,670	0,607	< 0,000

Skillnader mellan verkligheten och förutsättningarna för simuleringarna i Heureka PlanVis

PlanVis tar inte hänsyn till alla faktorer som skulle kunna påverka resultatet för det här arbetet. Till exempel tar programmet inte hänsyn till avverkningar i närliggande bestånd, flyttkostnader mellan trakter eller möjliga prisvariationer över tiden.

Dessutom kan inte Heureka PlanVis simulera förändringar i industrins behov av massaved eller timmer. Industrin kan inom en koncern ha mycket stor inverkan på när exempelvis gallringar genomförs. Bergvik Skog äger inte någon egen industri, utan majoriteten av råvaran som produceras på företagets marker köps som avverkningsrätter av Stora Enso Skog och BillerudKorsnäs. Det är de två företagen som är ansvariga för den praktiska skötseln av Bergvik Skogs innehav och självklart kommer deras intressen att påverka gallringstidpunkten i ett bestånd. Industriföretagens möjligheter till maximal avkastning ligger vid industrin och dess slutprodukter, till skillnad från markägaren som erhåller inkomster från skogen. De skilda intressena medför inte nödvändigtvis en rak motsättning mellan skogsägaren och

köparen men det kan leda till vissa konflikter om när en åtgärd ska utföras, där köparen antagligen i större utsträckning vill förlägga åtgärder till tidpunkter där råvarubehovet är som störst. Detta är alltid en balansgång där alla partner ska ha god avkastning och ekonomi – och det kan inte simuleras i Heureka PlanVis. Det föreligger alltså andra värden än nettot från gallringar och slutavverkningar när Bergvik i realiteten optimerar sitt skogsbruk. För att ge mer rättvisande resultat borde det här arbetet även tagit hänsyn till industrins avkastning – vilket hade varit mycket svårt att göra med det material som fanns tillgängligt.

Även homogena bestånd skiljer sig mycket åt och därför är det nödvändigt att tillämpa en adaptiv skogsskötsel. Det ställer höga krav på personal som arbetar med skötsel att känna till problematiken med varierande skogar för att rätt åtgärder tillämpas i varje individuellt bestånd. Den kunskapen och möjligheten till anpassning är svår att ersätta med ett simuleringsprogram.

Bergvik Skogs erfarenheter efter användning av Heureka PlanVis att systemet under fria förutsättningar föreslår gallring senare än företagets egen gallringsriktlinje. En förklaring till detta är Bergvik Skogs syn på kopplingen mellan tidpunkten och medelhöjden för beståndet vid gallringsingreppet samt risken för stormskador. Risken för stormskador simuleras alltså inte på ett fullgott sätt i Heureka PlanVis enligt Bergvik Skog (Sängstuvall 2014, *personlig kommunikation*)

Alla resultat i detta arbete kan antas vara lika korrekta som modellerna och uträkningarna i Heureka PlanVis. Därför ska resultaten betraktas med en vis skepsis då modeller och matematiska formler trots allt alltid är förenklingar av verkligheten. Det finns alltid scenarion och faktorer som inte täcks in av modeller. Dock är PlanVis det bästa verktyget vi har för att snabbt få svar på frågor som annars hade tagit tiotals år med stora fältförsök som krav för att besvara.

Andelen provytor per bestånd

Eftersom syftet med detta arbete var att resultatet skulle kunna användas med geografiskt kontinuerligt data från laserskanning kan det möjligtvis hävdas att antalet provytor per bestånd (ca 10) är lågt för att det ska vara tillämpbart inom samma område. Detta är dock det bästa materialet som finns tillgängligt för denna typ av analyser i dagsläget.

Total simulering istället för simulering på enbart gallringsbestånd

Det fanns två vägar att gå när det gäller simuleringarna. Antingen simulerades skogsbruk på hela innehavet och därmed alla bestånd, eller så simulerades enbart skogsbruk på de bestånd som var gallringsbara vid tiden för det ingående tillståndet. Skillnaden mellan dessa två angreppssätt är att för den förra har resultaten för gallringsåtgärderna blivit överskuggade av resterande resultat, eftersom det är slutavverkningar som genererar de största bidragen till nettonuvärdet. Att isolera gallringsbestånden vid simuleringen hade antagligen givit tydligare skillnader mellan olika gallringsbehovskvoter.

Nuvärden för gallringsnetton.

Att istället ha undersökt det diskonterade resultatet från enbart gallringar hade möjligtvis givit ett bättre resultat. Dock var avsikten att optimera hela skötselregimen – inte gallringarna isolerat. Det tolererades därför att gallringarna gav sämre avkastning i sig om omloppstiden i stort gav bättre avkastning.

Mätfel vid inventeringen

Författarna till detta arbete kan inte uttala sig om eventuella fel vid inmätningen av provytorna. Dock kan nämnas att materialet är justerat för eventuella mätfel utifrån en kalibrerande kontrolltaxering.

Strikt nuvärdesprincip

Skötseln i simuleringen optimerades efter strikt nuvärdesprincip – dvs att inga andra faktorer än nettonuvärdet beaktades vid val av skötselprogram i ett bestånd. Att den ”sanna” skötseln inte använts vid simuleringarna, exempelvis restriktioner om minsta andel avsatt skog, minsta andel äldre skog o dyl.

Prislistor

Tyvärr har inte Stora Ensos interna styrprislista funnits tillgänglig för det här arbete – vilket innebär att arbetet tvingat genomföras med en annan prislista – som eventuellt inte ger helt rättvisande resultat i Bergvik Skogs fall. Dock kan resultaten användas i mer generella avseenden.

Fortsatta studier

Det som ligger närmast att genomföra efter detta arbetes slutförande är att testa resultaten på den typ av datamaterial det är avsett för – dvs data från flygburen laserskanning. Resultaten bör testas över samma areal som de är framtagna på för att se om det ger liknande resultat.

Det har varit svårt att finna tidigare studier om heterogena bestånd och skötseln av dessa. Av de som ändå förekommer härrör de flesta från Finland. Studier med ekonomisk anknytning har varit mer eller mindre helt och hållet frånvarande. Litteratur och tidigare studier kring detta arbetes centrala frågeställning (lönsamhet vid olika arealandelar gallringsbehov) har inte påträffats alls. Det finns alltså stort utrymme att genomföra fortsatta studier inom det här området.

En sådan fördjupning inom området skulle kunna genomföras på ett mer heltäckande datamaterial över Sverige. Exempelvis skulle material från företagstaxeringar från flera av de större markägarna i landet kunna användas. Med det materialet skulle brytpunkter för när det är som mest ekonomiskt lönsamt att gallra ett bestånd i olika områden av landet kunna undersökas. Sådana resultat kan leda till att Sveriges skogar användes mer optimalt avseende ekonomisk avkastning.

Slutsats

Målet med det här arbetet var att konkretisera Bergvik Skogs gallringsriktlinje med ytterligare stöd till beslut i form av riktlinjer för när det är lönsamt att gallra ett bestånd utifrån dess inom-beståndsvariation, och hur stor andel av beståndet som uppvisar gallringsbehov.

De riktlinjer man kan skriva med detta arbetes resultat som grund är:

1. Om ett bestånd är homogent, dvs att den relativa standardavvikelsen för beståndets grundytvägda medelhöjd underskrider 10,3 %, ska gallring först genomföras först när 86,5 % av beståndet har behov av gallring.
2. Om ett bestånd är intermediärt, dvs att den relativa standardavvikelsen för beståndets grundytvägda medelhöjd ligger i intervallet 10,3 till 15,5 %, ska gallring först genomföras först när 69 % av beståndet har behov av gallring.
3. Om ett bestånd är intermediärt, dvs att den relativa standardavvikelsen för beståndets grundytvägda medelhöjd överstiger 15,5 %, ska gallring först genomföras först när 89 % av beståndet har behov av gallring.

Att resultaten inte stämmer överens med hypotesen om att optimum skulle infinna sig vid en gallringsbehovskvot av ca 50 % medför att hypotesen i det avseendet kan förkastas. Att den förkastas är intressant ur Bergvik Skogs synvinkel, eftersom företaget haft samma hypotes som författarna rörande vilken gallringsbehovskvot ett bestånd ska ha innan det gallras. Att resultaten av det här arbetet pekar mot att en betydligt högre procentsats än 50 % krävs för högsta ekonomiska avkastning medför att Bergvik Skog kan behöva beakta detta i anslutning sina riktlinjer för beslut om gallring. Innan företaget fastställer eventuella ändringar i sin gallringsriktlinje bör dock en studie med större omfattning än det här arbetet utföras. Författarna rekommenderar Bergvik Skog att vid fortsatta studier använda sig av en större mängd data än den från de 183 bestånden som använts vid simuleringarna i detta arbete. En större datamängd bör användas för att få ett säkrare samband mellan lägsta tillåtna gallringsbehovskvot och nettonuvärde. Man bör även göra fördjupade studier över hur indelningen i olika heterogenitetsklasser ska göras.

Detta arbete visar att homogena bestånd genererar ett högre nettonuvärde och att de bör premieras vid skötsel riktad mot att uppnå hög ekonomisk avkastning. Resultaten tyder också på att det är som mest lönsamt att sköta ett skogsinnehav genom att eftersträva homogena bestånd enligt ovan nämnda riktlinjer. Det finns således en hel del produktions- och ekonomihöjande åtgärder som kan genomföras, och tillsammans med god planering och kunskap om hur man sköter om de heterogena skogarna. Det här arbetets frågeställningar och möjliga metoder för hantering av inom-beståndsvariation är något författarna tror kommer diskuteras och implementeras mycket inom svenskt skogsbruk i framtiden. De som arbetar med taktisk planering kommer att bli allt mer medvetna om dessa problem då laserskanning blir vanlig som inventeringsmetod, vilket med stor sannolikhet kommer att ske inom en snar framtid.

REFERENSER

- Agestam, E. (2009). *Skogsskötselserien – Gallring [Online]*. (Skogsskötselserien, 7). Jönköping: Skogsstyrelsens förlag. Tillgänglig: <http://www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien> [2014-04-14].
- Albrektson, A., Elfving, B., Lundqvist, L. & Valinger, E. (2008). *Skogsskötselns grunder och samband [Online]*. (Skogsskötselserien, 1). Jönköping: Skogsstyrelsens förlag. Tillgänglig: <http://www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien> [2014-04-14].
- Barth, A. (2008). Flygburen laser gav bättre data om träden. *Resultat*(15).
- Bergvik Skog AB (2008). Bergvik Skogs policy för gallring. Falun: Bergvik Skog.
- Brethvad, T. & Iversen, E.H. (2012). Nyindelning av Bergvik Skog [Online]. *SkogsGIS 2012*. Tillgänglig: http://www.uli.se/images/stories/seminarier/presentationer/2012/skogsgis2012_brethvadiversen.pdf [2014-03-01].
- Brunberg, T. (2007). *Underlag för produktionsnormer för extra stora engreppsskördare i slutavverkning*: SkogForsk.
- Ekvall, H. & Bostedt, G. (2009). *Skogsskötselns ekonomi [Online]*. (Skogsskötselserien, 18). Jönköping: Skogsstyrelsens förlag. Tillgänglig: <http://www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien> [2014-04-14].
- Fahlvik, N. (2005). *Aspects of precommercial thinning in heterogeneous forests in southern Sweden*. Diss. Alnarp: Swedish University of Agricultural Sciences.
- Heureka Wiki. http://heurekaslu.org/wiki/Main_Page.
- Holm, S. (2012). *Inventeringsteori*: Inst f skoglig resurshushållning, SLU
- Holmgren, P. & Thuresson, T. (1997). Applying Objectively Estimated and Spatially Continuous Forest Parameters in Tactical Planning to Obtain Dynamic, Treatment Units. *Forest Science*, 43(3): ss. 317-326.
- Klang, D. & Burman, H. (2006). En ny svensk höjdmodell –Laserskanning, testprojekt Falun. *Rapportserie: Geodesi och Geografiska informationssystem, LMV-rapport, 3*.
- Lämås, T., Ståhl, G. & Dahlin, B. (2003). Heureka – bättre beslut i skogen. *Fakta skog*(8).
- Nordkvist, K., Sandström, E., Reese, H. & Olsson, H. (2013). *Laserskanning och digital fotogrammetri i skogsbruket*. (Arbetsrapport, 388). Umeå: Institutionen för skoglig resurshushållning, Sveriges lantbruksuniversitet.
- OL Skogsinventering AB (2006). Företagstaxering 2006 - Bergvik Skog AB - Instruktion för fältarbetet. Östersund: Tid-Tryck.
- Pukkala, T. & Miina, J. (2005). Optimising the management of a heterogeneous stand. *Silva Fennica*, 39(4): s. 525.
- Skogsstyrelsen (1985). *Gallringsmallar: Norra Sverige*. Jönköping: Skogsstyrelsens förlag.
- Sängstuvall, L. (2011). Laserinventering på Bergvik Skog. Bergvik Skog AB.
- Wikström, P., Edenius, L., Elfving, B., Eriksson, L.O., Lämås, T., Sonesson, J., Öhman, K., Wallerman, J., Waller, C. & Klintebäck, F. (2011). The Heureka forestry decision support system: An overview. *Mathematical and Computational Forestry & Natural-Resource Sciences (MCFNS)*, 3(2): ss. 87-95 (8).

BILAGOR

Bilaga 1 - Bergviks gallringsmall

